

## C1: ENERGIA

Na natureza não existem prêmios nem castigos,  
apenas consequências.

Robert G. Ingersoll

<b>1.1.</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.</b>	<b>Evolução Histórica.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3.</b>	<b>Formas de Energia.....</b>	<b>5</b>
<b>1.4.</b>	<b>Formas Primárias de Energia e seu aproveitamento .....</b>	<b>6</b>
<b>1.4.1.</b>	<b>Formas Renováveis e Percíveis de Energia .....</b>	<b>7</b>
<b>1.5.</b>	<b>Potencial Energético .....</b>	<b>7</b>
<b>1.6.</b>	<b>Reservas Energéticas.....</b>	<b>8</b>
<b>1.6.1.</b>	<b>Energia perecível .....</b>	<b>8</b>
<b>1.6.2.</b>	<b>Energia renovável.....</b>	<b>12</b>
<b>1.7.</b>	<b>Refino de Petróleo .....</b>	<b>18</b>
<b>1.8.</b>	<b>Inconvenientes do Aproveitamento Energético .....</b>	<b>19</b>
<b>1.9.</b>	<b>Problemas.....</b>	<b>21</b>
<b>1.10.</b>	<b>Bibliografia.....</b>	<b>24</b>

### **1.1. Introdução**

Uma análise da evolução da humanidade permite identificar a influência exercida pelo aproveitamento energético. O primeiro grande feito energético de nossos ancestrais foi o domínio do fogo, a capacidade desenvolvida de poder provocar fogo deliberadamente libertou-nos da necessidade de proteger a chama obtida de alguma combustão espontânea ou provocada pelas forças naturais. Estava aí a primeira manifestação de domínio de uma forma de energia e seu consequente aproveitamento em benefício da humanidade.

Daquela época até meados do século XVIII a evolução do aproveitamento das formas de energia deu-se lentamente. As modificações sociais e econômicas acompanharam aquela tendência, o que pode ser constatado ao se analisar o período de 4700 anos compreendido entre 3000 AC –tomado como referência- e 1700 DC.

A partir do século XVIII são observadas as alterações sociais, econômicas e industriais -note-se que o conceito de indústria data do século XIX- que levaram o homem do coque à Lua, e até fora do próprio Sistema Solar, acontecendo paralelamente ao aproveitamento maior e melhor dos recursos energéticos disponíveis.

Os dois fatos estão tão intimamente ligados que se torna difícil identificar o gerador. O que houve, e ainda há, é uma interdependência entre ambos. A demanda energética induz ao progresso que por sua vez induz à demanda energética e ambos ao comprometimento ambiental hoje constatado em todo o globo. Pode-se, assim, identificar a energia, ou mais especificamente o aproveitamento energético, como o responsável por permitir a um número crescente de pessoas o acesso à melhoria de nível de vida e conforto pessoal; nível de saúde identificado na longevidade e na redução de óbitos e nível de lazer, consequente ao decréscimo de horas trabalhadas.

Paralelamente a estes benefícios aparecem inconveniências como os crescentes nível de degradação ambiental, nível de insatisfação e tédio, características estas das sociedades mais desenvolvidas e nível de isolamento individual.

### **1.2. Evolução Histórica**

Uma tendência lógica em toda atividade é a do aproveitamento inicial de recursos de fácil acesso para apenas quando de sua escassez e, por isso, elevação de custo, lançar mão de outras fontes, de custo agora tornado exequível. Não foi outro o ocorrido com o aproveitamento energético.

Desde os primórdios da revolução industrial identificaram-se as fontes energéticas mais simples e de mais fácil acesso para posterior aproveitamento. Estas fontes, térmicas convencionais e hidráulicas, foram as responsáveis pelo desenvolvimento técnico-científico e social até a década de 1960. Aqui, então, iniciou-se o aproveitamento da energia nuclear em usinas termelétricas ou para propulsão de barcos.

Note-se que apenas a fonte de energia mudou; dos derivados de petróleo e do carvão passou-se para urânio. A transformação de energia mantém-se a mesma, dependente do vapor gerado pelo aquecimento de água obtido por aquelas fontes.

Mais recentemente ainda, na década de 1970, como resposta à chamada crise do petróleo, passou-se a pesquisar e desenvolver instalações e equipamentos para o aproveitamento das fontes de energia chamadas de alternativas.

As máquinas de transformação de energia viabilizadas entre 1750, com a máquina a vapor criada por James Watt e 1920, com a operação da última máquina hidráulica criada por Victor Kaplan, mantiveram a mesma configuração básica até a atualidade. As modificações introduzidas nas máquinas desde aquela época buscaram apenas o seu aprimoramento, evidenciado em rendimentos crescentes, aumento da potência específica, dada pela relação potência/peso e menores níveis de poluição.

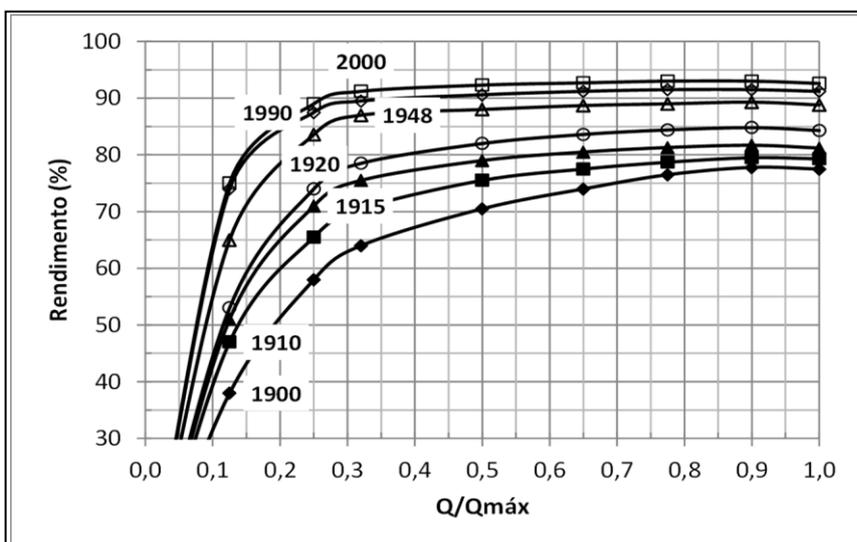


fig. 1.2.1 Evolução do rendimento em turbinas Pelton

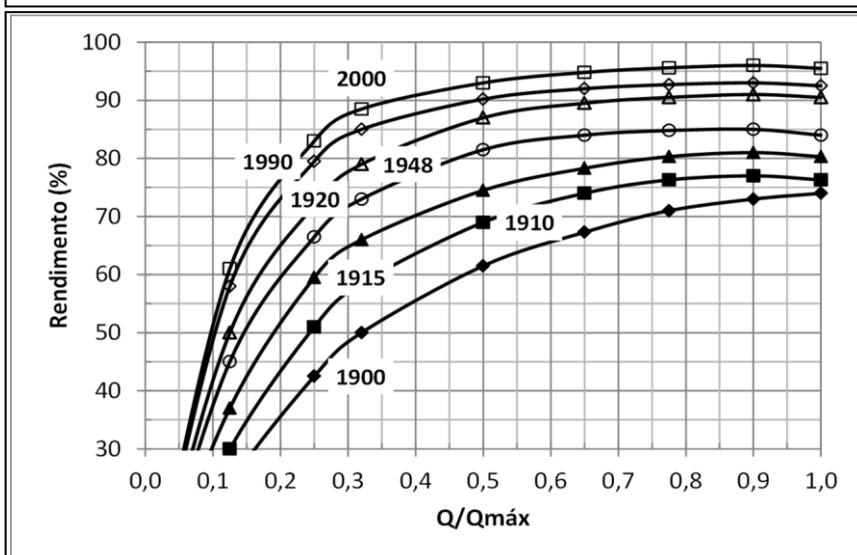


fig. 1.2.2 Evolução do rendimento em turbinas Francis

Tomadas as máquinas hidráulicas como referência, pode-se constatar nas figuras 1.2.1 e 1.2.2 a evolução dos rendimentos das turbinas Pelton entre 1900 e 1990 e Francis entre 1900 e 2000. O rendimento máximo das turbinas Pelton em 1990 se aproximava de 92% enquanto as Francis de 94%. No ano 2004 as Francis e Kaplan superavam os 96%. Tais valores mostram a evolução tecnológica das máquinas, indicando que nas primeiras cinco décadas o rendimento evoluiu em média 12 pontos percentuais e nas quatro décadas seguintes tal evolução restringiu-se a 3 ou 4 pontos percentuais. A recente evolução de

três pontos percentuais no rendimento das turbinas Francis e Kaplan é devida à possibilidade de simulação de escoamentos nestas máquinas. Pequenos acréscimos adicionais em rendimento podem ser ainda conseguidos, porém os custos associados ao desenvolvimento serão determinantes para a continuidade desta evolução.

Avaliando-se o desenvolvimento da potência das máquinas de fluxo, encontra-se hoje máquinas hidráulicas com valores unitários de até cerca de 850 MW e potências específicas superiores a 2500 W/kg, assim como potências da ordem de 1300 MW em máquinas térmicas a vapor.

A partir da chamada crise do petróleo, ocorrida em meados da década de 1970, quando o preço do barril chegou a US\$ 30,00 -em valores atualizados para o final de 2018 cerca de US\$ 150,00 [1]-, com o natural esgotamento dos sítios para hidrelétricas e o crescimento da pressão exercida pelos movimentos ambientalistas contra usinas nucleares, passou-se a pesquisar e desenvolver instalações e equipamentos para aproveitamento das chamadas fontes alternativas de energia. Sobressaem-se dentre estas as formas de energia solar, eólica, das marés, das ondas e da biomassa. Constata-se, por outro lado, que, tendo se reduzido o preço do barril de petróleo para níveis razoáveis, a euforia da energia alternativa também se reduziu.

Até o primeiro choque do petróleo o comportamento da sociedade para com a utilização de energia parecia indicar a certeza de que a demanda poderia crescer indefinidamente, pois seria coberta de alguma forma, forma esta não definida. A conscientização desta inverdade ainda se limita a alguns poucos. Pode-se transformar e aproveitar o que existe e a técnica permite. Quem define a demanda não é o desenvolvimento ou a sociedade, e sim o montante disponível de energia, caso contrário corre-se o risco de estagnação por sua falta. Identificada esta realidade observam-se esforços de alguns países no sentido de conscientizar os cidadãos para que seja economizada energia, o que reduziria a demanda atual. A crescente demanda e o conseqüente esgotamento das reservas levaram às avaliações de M.Granger Megs feitas em 1975, em plena primeira crise do petróleo e resumidas a seguir:

- ✓ “Nossos avós davam-se por satisfeitos com 110 kWh”
- ✓ “Nossos pais acreditavam serem 150 kWh suficientes”
- ✓ “Nossos irmãos têm aceitado 250 kWh como suficientes”
- ✓ “Nossos filhos acharão 350 kWh insuficientes”

Tomando as assertivas de Megs, R.C. Bailie complementou-as em 1981, durante a segunda crise do petróleo, com a afirmação de que:

- ✓ “Nossos netos serão obrigados a considerar 110 kWh suficientes”

O ano 2000 correspondeu à passagem de uma geração, 25 anos, com relação às avaliações de Megas e a primeira crise do petróleo. Se associadas aquelas avaliações à demanda energética atual pode-se considerar estarmos vivendo o período dos 350 kWh per capita. A previsão de Bailie de volta aos 110 kWh por imposição, está sendo retardada devido à identificação de novas reservas de combustíveis fósseis, em particular o petróleo, e ao desenvolvimento de novas tecnologias específicas para o aproveitamento energético. A ameaça, porém, persiste.

### 1.3. Formas de Energia

Cabem aqui alguns conceitos com relação à classificação das formas de energia disponíveis na natureza ou transformadas pela mão do homem, assim como no concernente a conceitos falhos sobre energia, porém de uso comum.

A energia pode ser encontrada e aproveitada, ou transformada, sob duas formas específicas. As formas primárias, oferecidas pela natureza em sua condição original não alterada pelo homem e as formas secundárias de energia, obtidas por algum processo de transformação. O quadro 1.3.1 apresenta exemplos de formas de energia.

Energia Primária	Energia Secundária
Carvão Natural	Energia Elétrica
Óleo Cru	Derivados de Petróleo
Gás Natural	Vapor
Urânio (não enriquecido)	Urânio Enriquecido
Energia Solar	Energia Hidráulica reutilizada em usinas reversíveis
Energia Hidráulica	
quadro 1.3.1 Formas comuns de energia	

É de uso corrente um sem número de expressões incorretas relacionadas com energia. Assim, diz-se ter sido tal ou qual energia consumida, ou gerada, ou dissipada. Na verdade, energia é apenas e tão somente transformada.

A parcela da energia disponível para ser aproveitada na realização de trabalho e, assim, também ser consumida, gerada ou dissipada, é chamada de exergia. Por sua vez a anergia é a parcela não utilizável da energia. Exemplificando quantitativamente, de 100% de energia disponível, ter-se-ia 80% de exergia, energia aproveitável, e 20% de anergia, esta inaproveitável. Dos 80% de exergia utilizar-se-ia 70% para gerar uma forma secundária qualquer e os 10% restantes seriam dissipados, perdidos, durante o processo. No contexto, gerar corresponderia a transformar para aproveitamento em determinado processo e dissipar corresponderia a transformar sem a possibilidade de aproveitar no mesmo processo. A dissipação ou transformação sem aproveitamento implica numa elevação de temperatura, isto é, no aumento da entropia do veículo energético.

#### 1.4. Formas Primárias de Energia e seu aproveitamento

Foi visto anteriormente que o aproveitamento energético se baseou durante longo período em fontes térmicas e hidráulicas, cuja distribuição de reservas primárias sobre a Terra é, ao menos, curiosa.

Os países desenvolvidos caracterizam-se por reservas primárias relacionadas com o aproveitamento térmico. Nestes países, a geração de eletricidade está baseada fundamentalmente em usinas termelétricas. Suas reservas primárias de energia, quando existentes, limitam-se ao carvão e em poucos casos ao petróleo. Como consequência desta distribuição, a geração de energia elétrica está apoiada em termelétricas, na queima de carvão, óleo, e, mais recentemente, na fissão nuclear e em algumas turbinas a gás. Mesmo os EUA, apesar de sua grande extensão territorial, têm mais de 70% de sua eletricidade obtida em usinas térmicas.

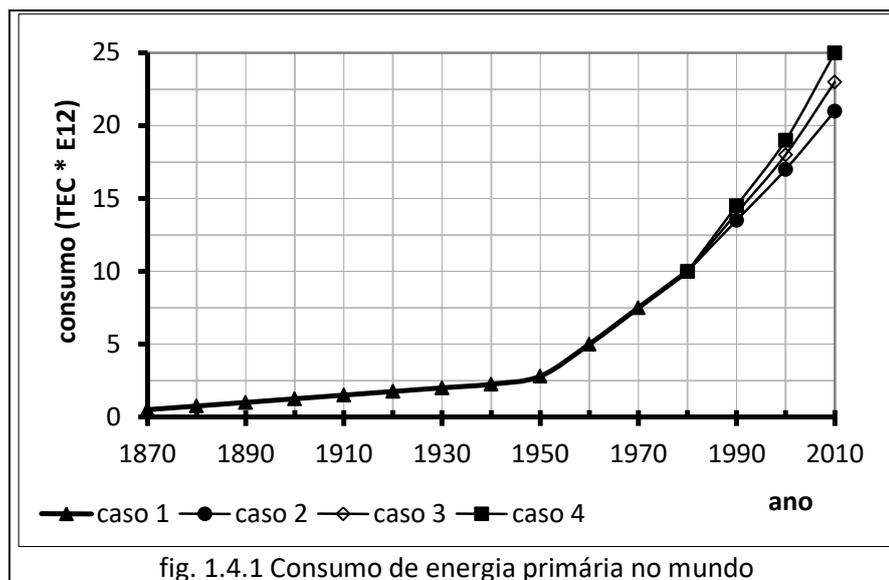
Por outro lado, os países em desenvolvimento, localizados ao sul do hemisfério norte ou no hemisfério sul, possuem grandes reservas hidráulicas, apoiando a geração de eletricidade em hidrelétricas.

Observa-se também que, esgotadas as reservas hidráulicas mais acessíveis, os países são levados a buscar alternativas mais complexas, elevando o custo da energia hidrelétrica obtida. Exemplo desta situação é a Áustria, onde uma ação popular banuiu as usinas nucleares e, restando apenas a alternativa hidráulica, partiu-se para usinas reversíveis em locais inóspitos, de difícil acesso e consequente custo elevado de construção e operação.

Uma comparação entre situações típicas dos hemisférios sul e norte torna-se possível apenas no tangente às hidrelétricas, cuja fonte de energia primária impede o seu transporte. Termelétricas têm sua fonte de energia podendo ser transportada e por isso podem ser construídas em locais mais convenientes, via de regra muito próximo do local de demanda.

Tomando-se como exemplo o Brasil e a Alemanha, verifica-se que no Brasil em 2011 mais de 80% da eletricidade se originava em hidrelétricas, enquanto na Alemanha este percentual se reduzia a cerca de 5%. O Rio Lech, na Baviera, em 120km e 25 usinas, viabiliza a obtenção de 230MW. O Rio Paraná, em uma das 20 turbinas de Itaipu oferece 750MW.

A evolução da demanda de energia primária no mundo, efetivada entre 1870 e 1980 e as previsões de evolução para o período compreendido entre 1980 e 2010 estão apresentadas na figura 1.4.1., representadas por: caso 1, demanda efetiva entre 1980 e 2010; caso 2, demanda mínima estimada entre 1980 e 2010; caso 3; demanda intermediária estimada entre 1980 e 2010; caso 4, demanda máxima estimada entre 1980 e 2010.



#### 1.4.1. Formas Renováveis e Perecíveis de Energia

Deve-se aqui, ainda, caracterizar as várias fontes e formas de energia primária presentes na natureza com relação à sua confiabilidade e expectativa de vida. Dentre as chamadas energias não convencionais existem formas de uso condicionadas à sua ocorrência quando da necessidade de utilização.

Curiosamente, fontes confiáveis são perecíveis, isto é, têm uma vida ou um período de utilização condicionado às reservas existentes. Esgotadas as reservas, desaparece a forma. Estas formas de energia primária são representadas pelos combustíveis relacionados à geração de calor por queima (fósseis), tais como carvão, gás natural, óleo e seus derivados ou então à geração de calor por reação química e ou física; nucleares. Elas independem de quaisquer caprichos naturais, a menos de seu volume definido e consequente extinção programada. São confiáveis porque a sua utilização independe de caprichos da natureza; estando disponíveis, podem ser usadas plenamente.

As fontes renováveis, aquelas que não se extinguem, têm um grau de confiabilidade dependente da forma específica. Enquanto a energia hidráulica é a menos volúvel, pois pode ser armazenada em reservatórios para aproveitamento durante períodos de estiagem, a energia eólica é uma das menos confiáveis, exigindo transformações intermediárias para armazenamento sob outras formas. O uso de eletricidade advinda de usinas eólicas para bombeamento de água e posterior turbinamento é o recurso mais usado para armazenar energia eólica.

#### 1.5. Potencial Energético

O potencial mundial de energia ainda não pode ser considerado delimitado, apesar de estudos sistemáticos neste sentido. O surgimento de novas técnicas e procedimentos para aproveitamento dos recursos disponíveis altera o potencial avaliado, elevando-o. O principal aspecto na questão se prende mais à viabilidade econômica de aproveitamento do recurso do que de sua descoberta propriamente dita. E o

inviável de hoje, porque muito caro, será o viável de amanhã, de custo reduzido devido a novas técnicas e do preço elevado aceito devido à escassez.

Um aspecto também importante se relaciona ao consumo energético como indicador de desenvolvimento, em contrapartida às reservas específicas. Uma avaliação da condição mundial neste aspecto expõe a real situação econômica dos vários países. Dos países mais desenvolvidos, que compunham o chamado G7 em 1985, grupo dos sete mais ricos composto por Alemanha, Canadá, Estados Unidos, França, Itália, Japão e Reino Unido [2], apenas os EUA detinham reservas de energia conhecidas suficientes para suprir a sua demanda. Todos os demais, países europeus e Japão, eram altamente dependentes de energia importada. Com a passagem da Rússia de observadora desde 1990 para membro a partir de 1998 formou-se o G8, cujos componentes continuam sendo dependentes de importação de energia externa, exceto Canadá, EUA e Rússia.

Verifica-se que cerca da metade da população mundial, que compõem os países menos desenvolvidos, consome cerca de 15% e produz cerca de 30% da energia. Por outro lado, nos EUA, com menos de 5% da população mundial, são consumidos cerca de 25% da energia mundial. Deve-se neste cômputo abstrair as características geográficas dos países ricos, situados em latitudes que exigem aquecimento ambiente, o que não ocorre com a maioria dos países em desenvolvimento. Desta realidade pode-se concluir que a riqueza está em aproveitar energia, e não em tê-la para, no melhor dos casos, exportá-la.

## **1.6. Reservas Energéticas**

Apesar da variedade de formas energéticas encontradas sobre a superfície terrestre, será dada ênfase apenas às formas significativas para o Brasil, apesar de apresentada a situação mundial. Por não ser o escopo deste capítulo, valores numéricos serão evitados sempre que possível fornecendo-se, porém, informações suficientes para um posicionamento claro da reserva em questão no âmbito mundial e nacional.

### **1.6.1. Energia perecível**

Estimativas de consumo baseadas no desempenho mundial na década compreendida entre 1976 e 1985 previram uma extinção rápida, entre 100 e 150 anos, das reservas mundiais conhecidas de petróleo, carvão, urânio e gás natural. Deve-se ressaltar que a mudança do perfil de consumo de cada energético, fundamentada principalmente na sua viabilidade econômica, assim como a descoberta de novas reservas, tendem a alterar tais projeções. Exemplos são a volta à queima do carvão em países produtores deste insumo, tais como Alemanha e Inglaterra, em substituição ao óleo quando do preço elevado do barril de petróleo. Passado o chamado choque do petróleo, com a redução dos preços a patamares aceitáveis aqueles países retornaram ao óleo importado para suprir suas necessidades. Além disso, com a prospecção de petróleo no mar a sua dependência de importações pôde ser reduzida.

As principais formas energéticas perecíveis são apresentadas a seguir, sem um maior aprofundamento. Carvão: encontrado em grandes quantidades e boa qualidade basicamente no hemisfério norte, exce- tuando-se a Austrália. As reservas brasileiras são de baixa qualidade, contendo elevado teor de enxofre e de cinzas e ocorrendo nos estados do sul do país, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Urânio e Tório: as maiores reservas são encontradas nos EUA, África do Sul, Austrália e Canadá, sendo pouco confiáveis os dados sobre a Europa Oriental e os países da antiga União Soviética. O Brasil detém as maiores reservas da América do Sul, estando as mesmas ainda em delimitação. Tais fontes de energia primária têm sido muito criticadas devido à sua alta periculosidade. A ressaltar que em alguns países já se verifica uma tendência de desativação de usinas termelétricas nucleares. Em particular a Alemanha comprometeu-se a desativar todas as suas usinas nucleares até 2022, substituindo a energia gerada por elas por formas alternativas de geração [3].

Petróleo: tomado o ano de 2001 como referência, as reservas confirmadas de petróleo aumentaram até 2017 em cerca de 60%. Dentre as dez maiores reservas, em 2001 cerca de 70% concentravam-se e em 2017 cerca de 50%, com o restante distribuído por América, em 2001 cerca de 13% e em 2017 cerca de 30%, com a Rússia como única representante europeia com cerca de 5% durante todo o intervalo. Es- tima-se que os EUA já aproveitaram 80% de suas reservas enquanto os demais países 50% [4].

Dos gráficos verifica-se um aumento de cerca de 62% nas reservas conhecidas em 2017 com relação a 2001 e também o aparecimento em 2017 de países cujas reservas os posicionavam fora dos dez maiores de então. Como exemplo pode-se tomar o Canadá, quem em 2001 ocupava o décimo quinto lugar e em 2017 ocupa o segundo lugar em reservas de petróleo no mundo.

Com relação ao Brasil, a produção tem crescido a partir da exploração de jazidas na plataforma subma- rina, com prospecções e explorações em lâminas d'água superiores a 2.000 m. Em 2001 o Brasil ocupava a décima quarta posição dentre as maiores reservas mundiais com cerca de  $8,0 \cdot 10^9$  barris de petróleo, tendo passado para décima quinta posição em 2017, com cerca de  $13,0 \cdot 10^9$  barris.

A figura 1.6.1 mostra a evolução das reservas de petróleo entre 2001 e 2017. O maior incremento acon- teceu com o Canadá, de cerca de 2500 por cento, enquanto os Emirados Árabes não apresentaram cres- cimento e a Arábia Saudita apresentou um aumento de apenas dois por cento. Deve-se considerar que todos os países continuaram extraindo petróleo durante o intervalo de tempo considerado.

A localização das principais reservas mundiais de petróleo está indicada na figura 1.6.2 Os países nelas relacionados agregam cerca de 85 % das reservas conhecidas em 2017. As figuras 1.6.2 e 1.6.3 mostram os dez países com as maiores reservas de petróleo nos anos de 2001 e 2017, respectivamente.

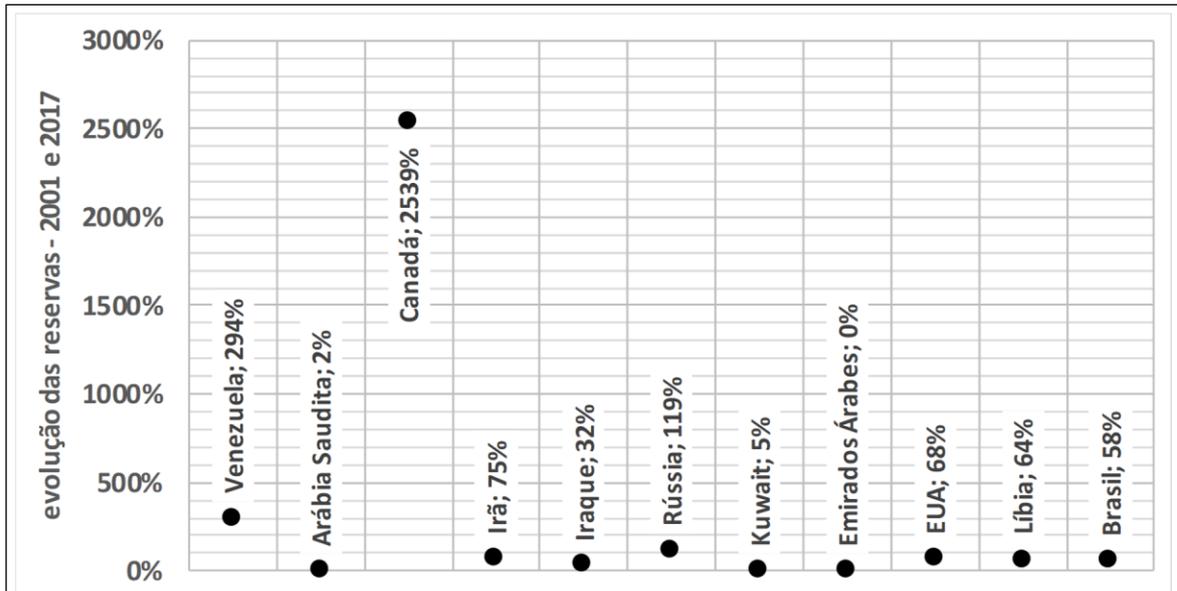


fig. 1.6.1 Evolução das reservas nos dez maiores países depositários de petróleo e no Brasil

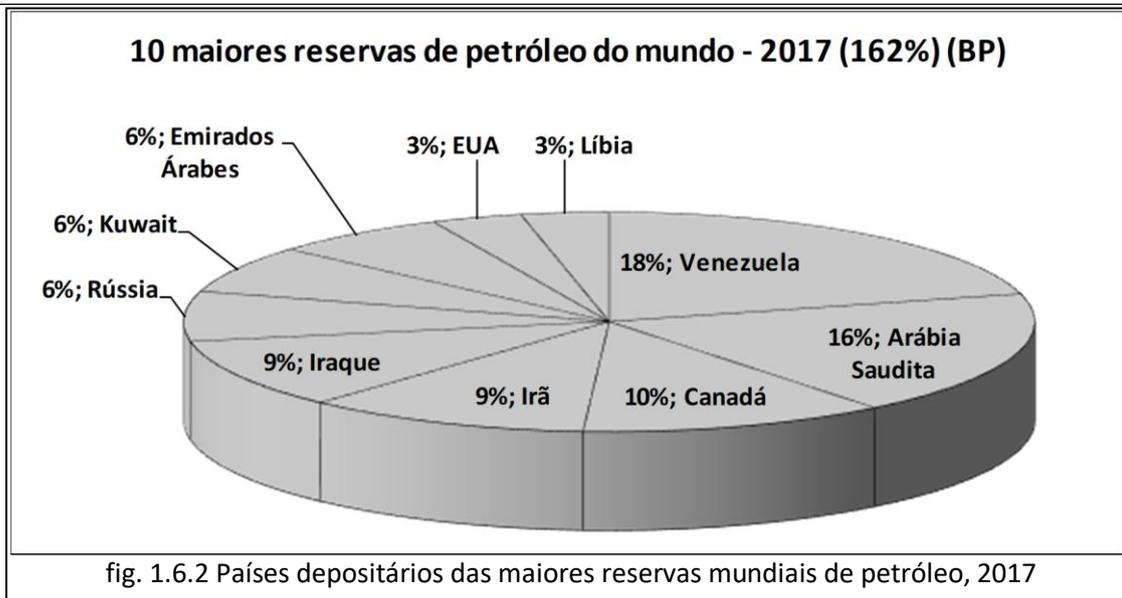


fig. 1.6.2 Países depositários das maiores reservas mundiais de petróleo, 2017

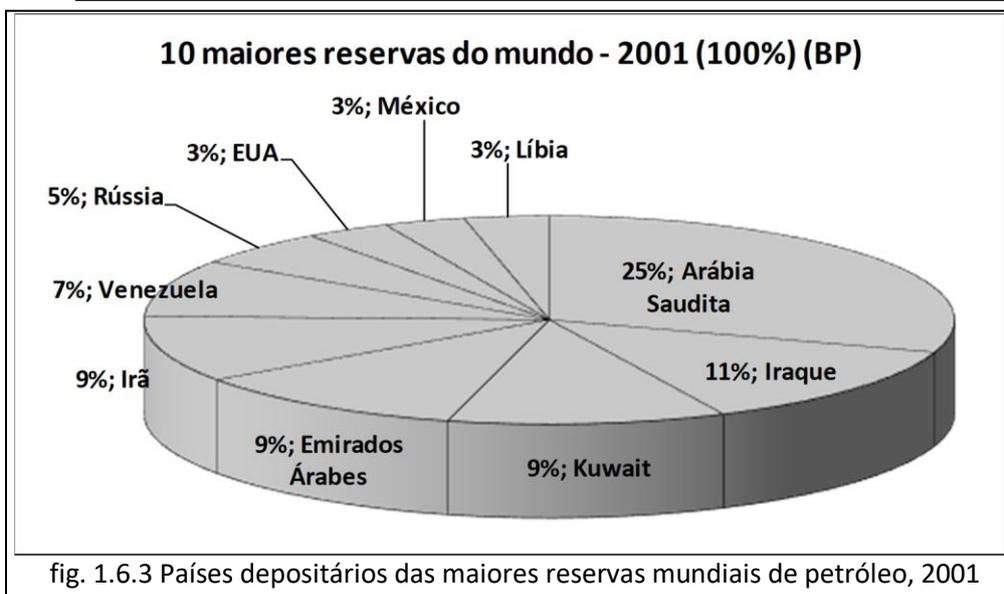


fig. 1.6.3 Países depositários das maiores reservas mundiais de petróleo, 2001



### 1.6.2. Energia renovável

As várias formas de uso de energia solar, sob o foco térmico e fotovoltaico, eólico, marítimo nas formas ondas, marés e térmica, biomassa e hidráulica compõem o quadro das formas renováveis de energia. Dentre elas a energia hidráulica é explorada de há muito e em grande escala, a biomassa já teve pelo menos um programa mundial de larga escala, iniciado em meados da década de 1970 no Brasil e desativado ao início da década de 1990. O uso de biomassa para a produção de alternativas aos hidrocarbonetos foi reativado ao final da década de 1990, também em alguns países industrializados e acredita-se que o seu aproveitamento não mais se reduzirá. As demais formas estão em fase experimental ou em início de exploração, ou ainda em fase de estudos de viabilidade técnico-econômica.

Apesar de inesgotáveis, algumas fontes são limitadas, como a energia hidráulica, e todas dependem dos caprichos da natureza, fazendo parte das formas menos confiáveis de energia.

A energia solar é disponibilizada com uma máxima intensidade de radiação solar que corresponde a cerca de  $1 \text{ kW/m}^2$ . A energia térmica solar já é usada para produção de calor para aquecimento e refrigeração, geração de vapor para termelétricas ou geração direta de energia elétrica através de células fotovoltaicas. As regiões de maior incidência solar situam-se próximas ao equador em regiões desérticas ou semidesérticas. Sobressaem-se dentre elas Oriente Médio, a Austrália, os USA, partes da África, da América Latina e países mediterrâneos, além da Índia. No Brasil as regiões mais privilegiadas são o Norte e o Nordeste. Os principais inconvenientes referentes ao uso da energia solar são as limitações de aproveitamento noturno e a sua variação com as estações do ano e com as condições atmosféricas regionais, variáveis dia a dia. A figura 1.6.5 mostra a usina

termelétrica por energia solar de Almeria, Espanha.



fig. 1.6.5. Usina termelétrica com aquecimento por reflexão solar (Almeria, E)

No tocante à energia eólica os moinhos de vento têm uma longa tradição como máquinas de transformação de energia, porém aplicadas em micro aproveitamentos. Aproveitamentos eólicos como o visto na figura 1.6.6 tornam-se viáveis em regiões onde a velocidade do vento supera  $4,0 \text{ m/s}$ . Mesmo em velocidades elevadas a potência específica, representada pela relação potência/peso é muito baixa, se comparada com outras formas de transformação de energia. Por esta razão a energia eólica é uma alternativa complementar a outras formas de aproveitamento. Os locais mais favorecidos são as regiões planas próximas do Mar do Norte, Holanda e norte da Alemanha.

No Brasil destacam-se algumas regiões do sul e do nordeste, onde o aproveitamento da energia eólica é intenso. Por ser uma forma não confiável; o vento venta quando quer e não quando necessário; a energia eólica deve ser armazenada para uso quando da sua demanda efetiva. Uma das alternativas para tanto é o recalque de água para reservatórios superiores para posterior turbinamento. Aproveitamentos de grande porte, ou pelo menos sistemas



fig. 1.6.6. Aproveitamento eólico Koudia AL Baida, Marrocos

com hélices de grande diâmetro, são questionados sob o ponto de vista de impacto ambiental. Um sistema eólico, para viabilizar uma potência máxima de 3,0 MW necessita de hélices de 100 metros de diâmetro, com o seu centro de rotação localizado a 100 metros de altura. Para tornar a instalação competitiva face a outras formas convencionais de transformação, hidráulica e térmica, seria necessário um grande número de unidades e a conseqüente ocupação de uma área plana e elevada.

Dentre as formas de energia marítima destacam-se o aproveitamento da energia das ondas, das marés, do escoamento e térmica.

A energia das ondas objetiva aproveitar a variação de nível da superfície livre e dos gradientes de pressão abaixo delas. O sistema mais desenvolvido para este aproveitamento se apóia no deslocamento do ar provocado pelo impacto das ondas em câmaras, em cujas saídas estão conectadas turbinas eólicas, conforme figuras 1.6.7 e 1.6.8.

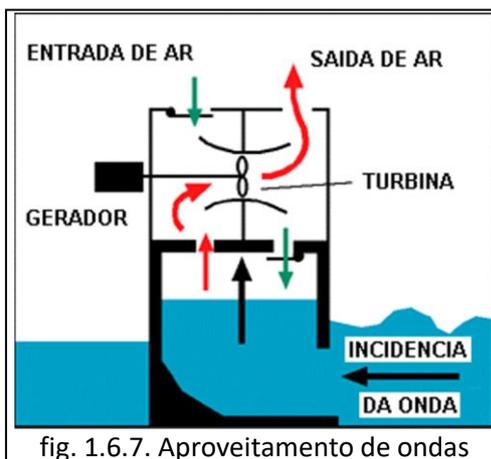


fig. 1.6.7. Aproveitamento de ondas



fig. 1.6.8. Aproveitamento de energia das ondas, Limpet, Escócia

Para o aproveitamento das marés usam-se sistemas semelhantes às usinas hidrelétricas, porém operando com água salgada. Os dois reservatórios são definidos pelo oceano e a foz ou o delta de um rio, conforme figura 1.6.9. Encontram-se usinas maré motrizes operando na costa francesa e na costa atlântica do Canadá.

Apenas a costa do norte-nordeste brasileiro, a partir de Fortaleza oferece desníveis adequados ao aproveitamento da energia maré motriz. Ainda assim, os maiores desníveis se encontram no seu limite mínimo de altura de



fig. 1.6.9. Usina maré motriz de La Rance, França

queda, no caso 3,5 metros. Apenas como fator comparativo, a altura de queda máxima obtida na costa francesa chega a valores superiores 17,0 metros.

As energias de escoamento e térmica do oceano são viáveis apenas em regiões entre as latitudes 20 N e 20 S. O aproveitamento da diferença de temperatura entre a superfície e o fundo do mar já está sendo aproveitado em instalações no Havá conforme figura 1.6.10. O aproveitamento da energia do escoamento, ou das correntes marítimas, pressupõe a instalação de uma hélice para transformação do movimento de translação da corrente para a rotação de um rotor elétrico, como proposta da figura 1.6.11.



fig. 1.6.10 Aproveito do diferencial de temperatura, Keahole Point, Havaí

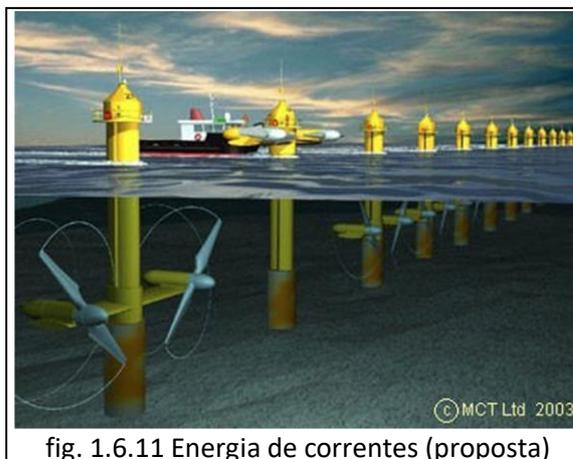


fig. 1.6.11 Energia de correntes (proposta)

A energia da biomassa baseia-se no aproveitamento da fertilidade do solo associada à insolação para produzir vegetação específica para aproveitamento energético. Riqueza típica dos países em desenvolvimento devido à exigência de grandes extensões territoriais, o Brasil foi responsável pelo único programa abrangente na área, inclusive produzindo a única alternativa realista para a gasolina, isto é, o álcool motor. O Proálcool, iniciado em 1975 e desativado ao início da década de 1990, voltou a ser reativado ao final desta década e ganhou ainda maior projeção em 2004, com o lançamento dos motores bicompostível. No auge do Proálcool, a indústria automobilística produziu mais de 90 % dos motores dos automóveis movidos a álcool.

Outros programas brasileiros daquela época e que visavam a substituição de outros derivados de petróleo a partir de vegetais tais como babaçu, mandioca, eucalipto pouco avançaram além do papel.

Deve-se citar também o aproveitamento da energia geotérmica, isto é, a energia térmica do subsolo terrestre. Exemplo maior é a Islândia, ilha vulcânica que aproveita o calor do subsolo para fins industriais e domiciliares.

A energia hidráulica será estudada em detalhes no capítulo 4. Dentre as várias formas de energia primária renovável esta é a mais prática para aproveitamento, sendo usada fundamentalmente para geração de energia elétrica. O aproveitamento hidráulico moderno iniciou-se com pequenas usinas nas mini regiões geográficas europeias, agigantando-se em países de grandes dimensões como Brasil, USA e Canadá para voltar a mini aproveitamentos agora também nestes países.

O Brasil é um dos líderes mundiais em hidroeletricidade, com um percentual superior a 80% do total de eletricidade produzida em 2010.

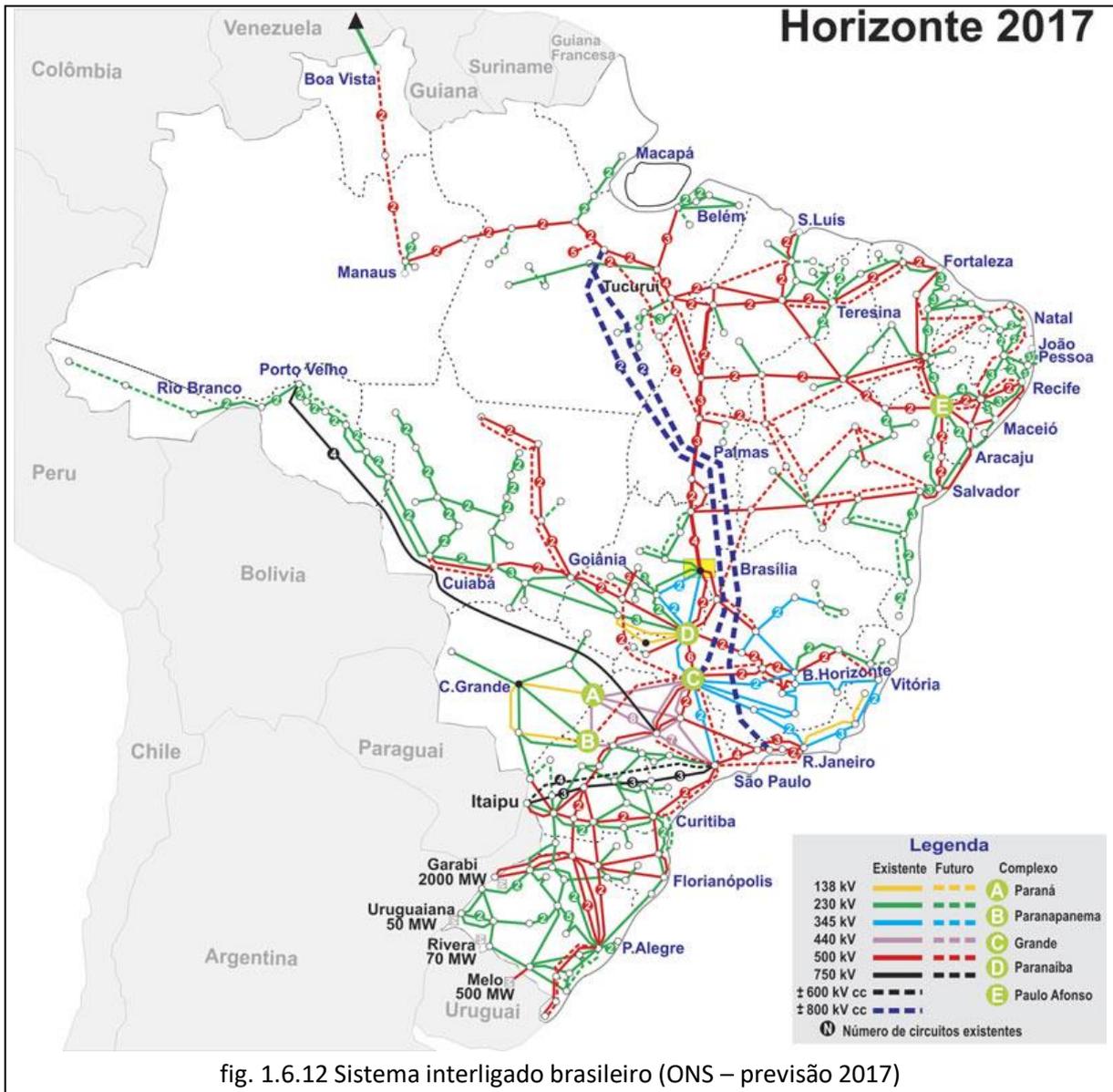
O aproveitamento completo do potencial hidrelétrico próximo das regiões de demanda elevada de eletricidade está impondo a mudança do perfil gerador de hidrelétrico para termelétrico, conforme já exposto anteriormente. Turbinas hidráulicas apresentam a grande vantagem de poderem entrar em operação em plena carga ou sair de operação em intervalos de tempo de cerca de dois minutos. Dentre os inconvenientes do aproveitamento hidráulico evidencia-se a dependência do regime dos rios, ou das condições meteorológicas ao longo do ano e dos anos. Por esta razão uma usina hidrelétrica não pode operar a plena carga durante todo o ano, o que leva à caracterização de um fator de carga indicativo da parcela da energia que a usina pode oferecer durante determinado período do ano com relação à máxima instalada. O fator de carga mundial médio corresponde a 0,42. Dependendo da localização geográfica das regiões em análise tem-se fator de carga variável. Tomado o Brasil como referência, o fator de carga elevado de parte do Sudeste, centro-oeste e norte contrapõe-se aos fatores baixos das demais regiões e conduz a um valor médio igual a 0,52. O Canadá apresenta fator de carga igual a 0,62 enquanto a Espanha 0,28. Com isso, conclui-se que uma usina com potência máxima de 10MW instalada em região com fator de carga 0,5 pode gerar 10MW apenas durante parte do ano, isto é, há apenas a garantia de uma energia firme de 5 MW ao longo de todo o ano.

A definição segura do potencial energético explorável num determinado sítio exige acompanhamento de sua hidrologia por um mínimo de 20 anos, sob pena de o aproveitamento ser sub ou superdimensionado. Ocorrendo este fato, a usina terá mais máquinas do que o necessário, levando à perda de parte do investimento ou, com o sub dimensionamento, parte da energia aproveitável será perdida. Importante ressaltar que em vista do montante investido em uma usina hidrelétrica de grande ou médio porte, torna-se impossível a sua demolição e reconstrução.

Além destas limitações tem-se ainda as restrições de comprimento de linha de transmissão. No passado tais comprimentos variavam entre o máximo de cerca de 1000 km para transmissão em corrente alternada e cerca de 1500 km para transmissão em corrente contínua, para linhas ponto-a-ponto. Linhas únicas de transmissão com comprimentos superiores a estes limites implicavam em perdas elevadas desaconselhando economicamente o projeto de transmissão de energia. A introdução de recursos da chamada eletrônica de potência permite serem viabilizadas linhas de transmissão mais longas, com a transmissão em corrente alternada tendo o seu limite em cerca de 2500 km, a partir do qual a transmissão em corrente contínua revela-se mais conveniente.

No caso de alimentação de redes, caso mais comum, a limitação de comprimento desaparece, pois se passa a ter um número elevado de usinas e de centros consumidores interligados, eliminando o conceito de transmissão por linha única, chamada de transmissão ponto a ponto. Na região Sudeste tem-se estes dois conceitos: uma linha única de transmissão em corrente contínua de Itaipu à Grande S. Paulo, com cerca de 800 km de comprimento e 6.000 MW de potência e a rede que interliga os estados do Sul aos estados do Nordeste, passando pelos estados do Sudeste e parte dos estados do Centro-Oeste e do Norte.

A figura 1.6.12 mostra o mapa da rede de distribuição de energia elétrica em todo o Brasil, prevista para ter sido implantada até o final de 2017. Dele pode ser verificada a tensão das várias redes de transmissão, a expansão do sistema nas regiões já alimentadas pela rede e a expansão da rede para regiões novas tais como Mato Grosso, Acre e Amazonas (Manaus). Verifica-se também ao norte a importação de energia elétrica da Venezuela, para alimentação do Amapá, assim como ao sul a importação da Argentina para alimentação da região de fronteira do R. G. do Sul. Deve-se aqui acrescentar que metade da energia fornecida por Itaipu, e que vem para SP por transmissão ponto a ponto em corrente contínua é importada do Paraguai. Além disso, face à elevada distância, estão sendo implantadas duas linhas em corrente contínua entre Tucuruí, no Pará e a região Sudeste, onde ocorre a maior demanda e indicadas na figura por linhas tracejadas.



### 1.7. Refino de Petróleo

A figura 1.7.1 mostra o ciclo da Refinaria de Petróleo da Refinaria de Paulínia, operada pela Petrobrás e, até a década de 2000 responsável pelo refino de cerca de 25 % do total dos derivados de petróleo produzidos no Brasil.

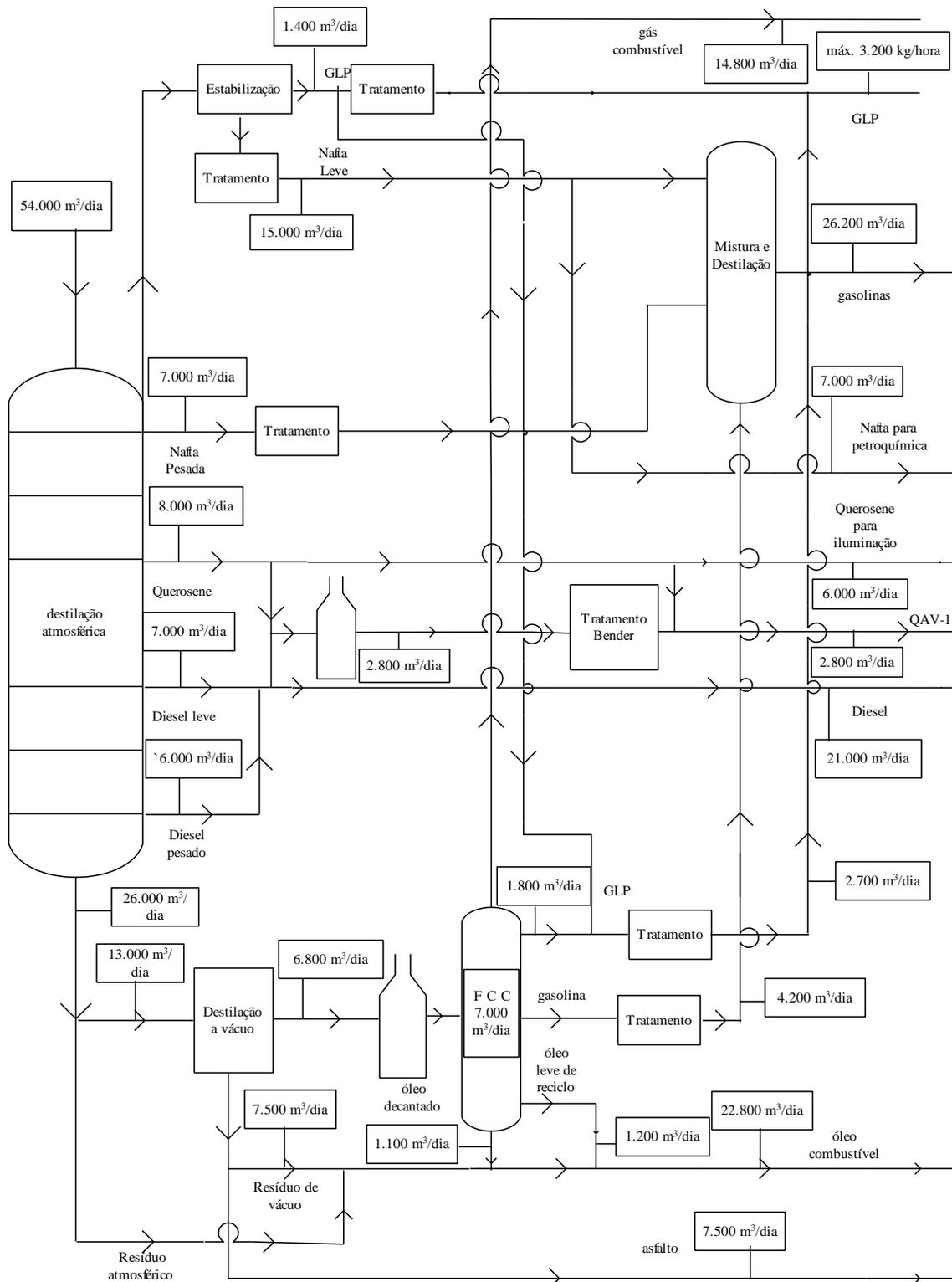


fig. 1.7.1. Ciclo de refino da Refinaria de Petróleo de Paulínia

Note-se que os produtos obtidos ao final do processo são dependentes dos vários processos de refino definidos quando da construção da refinaria. Tal fato implica na impossibilidade de se obter uma maior quantidade de um determinado produto em função da redução de produção de outro qualquer. Por esta razão a substituição da gasolina pelo álcool não reduziu a importação de petróleo pelo Brasil durante a fase áurea do Pró Álcool. Demandava-se então o mesmo volume de óleo bruto para produzir óleo Diesel, e a sobra de gasolina era exportada a preços inferiores ao praticados no próprio Brasil.

### 1.8. Inconvenientes do Aproveitamento Energético

Sem o objetivo de detalhar as implicações do aproveitamento energético, serão aqui apresentadas as várias influências exercidas por tais atividades sobre o meio ambiente. Pretende-se aqui apenas apresentar de forma sintética as interferências existentes, sem quaisquer comentários adicionais além das convenções representadas por: (-) pouca influência; (+) influência sensível; (++) muita influência.

✓ Mineração de combustíveis sólidos.

poluição do ar (+)

poluição das águas (+)

ocupação da terra (área) (++)

produção de resíduos sólidos (++)

nível de ruído (++)

estética local (+)

✓ Prospecção de petróleo em plataforma submarina

poluição do ar (+)

poluição das águas (++)

estética local (quando próximo de praias) (+)

✓ Termoelétricas a óleo e a gás

poluição do ar (+)

poluição das águas (+)

ocupação de terra (4km<sup>2</sup> / 1.000MW) (+)

estética local (+)

✓ Termoelétricas a carvão

poluição do ar (+)

poluição das águas (+)

ocupação da terra (4km<sup>3</sup> / 1.000MW) (+)

produção de resíduos sólidos (500.000 t/ 1000MW) (++)

estética local (+)

- ✓ Termelétrica nuclear

poluição do ar (+)

poluição das águas (++)

ocupação da terra (77 km<sup>2</sup> p/ ciclo completo) (+)

produção de resíduos sólidos (+)

estética local (+)

- ✓ Hidrelétricas

- Poluição das águas (+)

A redução da auto epuração conseqüente à redução da velocidade de escoamento nos rios e lagos induz a proliferação de bactérias anaeróbicas em águas já poluídas. As mesmas razões implicam na alteração da fauna e da flora aquática.

- Ocupação da terra. (+)

É tão maior quanto maior a potência instalada da usina. O complexo Lagrande no Canadá ocupa 6.000km<sup>2</sup> para uma potência instalada de 12.000MW. Neste caso a importância econômica da região alagada é secundária por estar situada em região inaproveitável para a agricultura e inabitada, a cerca de 1.000 km ao norte de Montreal, o que não acontece na maioria dos aproveitamentos brasileiros.

- Estética local. (+)

Pode haver alguma influência devido às suas formas e dependendo da localização da usina com relação a centros urbanos.

- Outros riscos

- Danos na barragem e conseqüente alagamento das regiões baixas a jusante,
- Impacto social pela geração do lago e conseqüente deslocamento da população,
- Mudanças climáticas locais,
- Abalos sísmicos.
- Linha de transmissão
- Ocupação de terra (30.000 m<sup>2</sup>/ km) (++)
- Segurança de pessoas (-)
- Segurança de grandes pássaros (-)

A impossibilidade de retorno à nascente das espécies de peixes que povoam um determinado rio prejudica a sua reprodução. A escada de peixes vista na figura 1.8.1 objetiva permitir tal retorno ao oferecer a possibilidade de o peixe vencer a altura de queda subindo os degraus da escada.

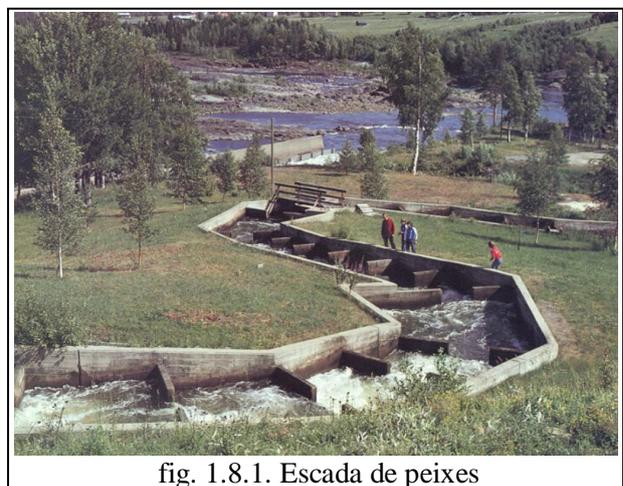


fig. 1.8.1. Escada de peixes

**1.9. Problemas**

**1.9.1** Discutir comparativamente, a partir de seus conhecimentos atuais, o intervalo de tempo necessário para colocar em operação a partir da parada completa as usinas hidrelétrica, termelétrica a gás e a vapor.

**1.9.2** Uma indústria pretende construir uma usina hidrelétrica para alimentar suas máquinas. O fator de carga da região é 0,3. Considerando-se uma necessidade de 1500 kWh/h durante todo o ano, determinar a potência mínima a ser oferecida pelo sítio de instalação da usina. Justificar a resposta.

**1.9.3** Pretende-se construir no Mato Grosso uma usina para gerar a potência mínima de  $P_{MN} = 1000$  MW.

- .1. Analisar as duas alternativas possíveis de geração de energia elétrica, água e óleo, expondo vantagens e desvantagens.
- .2. Discutir a alternativa mais adequada para a usina entrar em operação no menor intervalo de tempo possível.

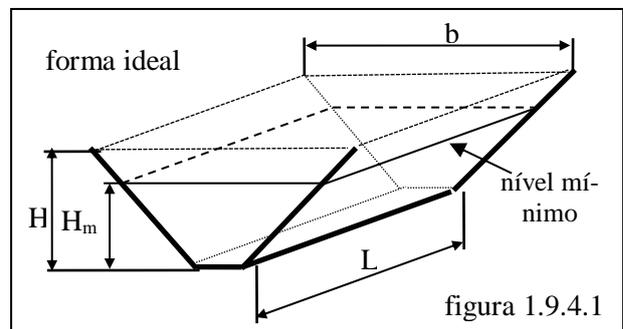
**1.9.4** Uma região amazônica, afastada dos centros urbanos, demanda certo montante de energia para viabilizar a instalação de um complexo industrial. Por ser região de grande potencial hídrico, optou-se por uma usina hidrelétrica. A procura por informações hidrológicas conduziu inicialmente às alternativas da tabela 1.9.2.

SÍTIO	X (km)	Observações
A	20	sítio identificado há 5 (cinco) anos
B	400	sítio identificado há 30 (trinta) anos
C	1000	sítio identificado há mais de 100 (cem) anos
D	2000	sítio identificado há mais de 100 (cem) anos

Tabela 1.9.4.1

H (m)	A/A <sub>m</sub>	V/V <sub>m</sub>
50	10	7
60	12	12

Tabela 1.9.4.2  
 H : altura de queda do reservatório;  
 A : área inundada ; V : volume inundado;  
 A<sub>m</sub> e V<sub>m</sub> : valores mínimos



X: distância da região até o complexo:

- .1. Analisar cada sítio, indicar a viabilidade de seu aproveitamento e as razões para tal conclusão.

Estudos mais aprofundados revelaram o sítio E, localizado a 300 km do complexo, conhecido há mais de 30 (trinta) anos, como a melhor alternativa para a usina hidrelétrica. A tabela 1.9.2. mostra as opções para definição da altura de queda da usina.

.2. Escolher uma das alturas de queda indicadas na tabela 1.9.2. Justificar a escolha. Para tanto os valores da tabela devem ser analisados e associados com a localização do empreendimento.

**1.9.5** Analisar criticamente as afirmações abaixo:

.1. A energia elétrica, obtida pela transformação da energia primária hidráulica, também é uma forma primária de energia.

.2. Uma grande desvantagem do investimento em energia renovável prende-se ao fato de estas formas de energia estarem em extinção.

.3. Uma desvantagem das formas renováveis de energia com relação às formas perecíveis é a sua menor confiabilidade.

**1.9.6** Uma indústria pretende construir uma usina hidrelétrica para alimentar suas máquinas. O fator de carga da região é igual a  $X$ , que pode variar entre 0,05 e 1,0. Considerando-se uma necessidade de 1000,0 kWh/h durante todo o ano, definir as condições de potência mínima da usina.

**1.9.7** Discutir a construção de usinas termelétricas nucleares no Brasil a partir das condições de demanda e oferta atuais de energia elétrica. Analisar aspectos técnicos, econômicos e de localização destas usinas.

**1.9.8** Ao se executar uma barragem cria-se um desnível entre dois reservatórios e, com isso, pode-se aproveitar a energia potencial hidráulica das partículas fluidas do reservatório superior.

.1. Em quais condições, ao escoar por uma turbina, uma partícula fluida disponibiliza a forma de energia chamada de primária?

Considerar uma partícula fluida que haja fornecido energia primária na instalação em questão.

.2. O que seria necessário para que a partícula voltasse a fornecer energia à mesma instalação? Como isso seria conseguido? Como seria chamada a forma de energia fornecida pela partícula neste segundo ciclo? Por que?

Admitir que a partícula fluida em pauta, após os dois ciclos acima descritos, escoe rio abaixo até uma usina térmica. Nesta a partícula é aproveitada no circuito fechado de geração de vapor para consequente geração de eletricidade.

.3. Analisar criticamente a afirmação: “Tendo sido aproveitada inúmeras vezes para geração de energia, conclui-se que a partícula fluida em foco possui energia quase infinita”.

**1.9.9** Para justificar a construção de usinas nucleares em determinados países, foi usado o seguinte argumento: “Nosso grande problema é a demanda de ponta, naqueles horários em que o consumo de

eletricidade se acentua. As usinas nucleares são ideais para tal aplicação.” Analisar criticamente a afirmação exposta:

- .1. Sob o aspecto técnico, a partir da forma de operação de tais usinas.
- .2. Comparando tecnicamente esta solução com outras formas de geração de eletricidade.
- .3. Propondo alternativas hidrelétricas para o horário de pico e expondo o seu modo de operação.

**1.9.10** Discutir, a partir de seus conhecimentos atuais, o número de máquinas a serem instaladas numa determinada usina hidrelétrica e que pode variar entre uma e cinco.

**1.9.11** A solução mais comum aplicada para transformar energia das ondas passa pelo uso de uma turbina eólica.

- .1. Explicar a tecnologia usada e a forma de operação da usina, se necessário usando esquemas.
- .2. Justificar a necessidade dos conjuntos de duas válvulas para viabilizar a operação contínua da instalação
- .3. Expor a sequência de eventos para geração de energia em um ciclo de incidência e retorno de uma onda na instalação.
- .4. Discutir os maiores problemas relacionados com a manutenção das instalações.

### 1.10. Bibliografia

- A GUERRA DO FOGO** Direção de Jean-Jacques ANNAUD, J. J. França / Canadá: AMLF, 1981. filme (91 min), son. color
- ANEEL **Atlas de energia elétrica do Brasil** Brasília: Aneel, 2008
- BAILIE, R. C **Energy Conversion Engineering** London: Addison-Wesley, 1978
- BRAGA, B. et all **Introdução à Engenharia Ambiental** São Paulo: Prentice Hall, 2002
- BRANCO, S. M. **Energia e Meio Ambiente** 13ª ed., São Paulo: Moderna, 1996
- BREEZE, P. **Power Generation Technologies** Amsterdam: Elsevier, 2005, 276 p.
- BRITISH PETROLEUM BP **Statistical Review of World Energy** , London, Junho 2011
- BROWN, S. I., WALTER, M. I. **The Art of Problem Posing** 3.ed., Lawrence Earbaum Ass., Mahwah, 2005, 182 p.
- CAVALLO, A., J. Wind Turbine Cost of Electricity and Capacity Factor, Transactions of the ASME, Journal of Solar Energy Engineering, v.119, nov. 97, p. 312-314 **American Society of Mechanical Engineers**, 1997
- CECH, T. V. **Principles of Water Resources** New York: J. Wiley & Sons, 2003
- CLEMENTINO, L. D. **A Conservação de Energia por meio da Co-geração de Energia Elétrica** São Paulo: Erica, 2001
- CHOI, S. H., et. al A 50-kW Module Power Station of Directly Solar-Pumped Iodine Laser, Transactions of the ASME, Journal of Solar Energy Engineering, v.119, nov. 97, p. 305-311 **American Society of Mechanical Engineers**, 1997
- CULP JR., A. W. **Principles of Energy Conversion** New York: McGraw-Hill, 1978
- FEDERAL INSTITUTE FOR GEOSCIENCES AND NATURAL RESOURCES **Survey of Energy Resources 1980 partes A, 2, 3, 4**, 11<sup>th</sup> Energy Conference, Munich, 8-12 september 1980
- GOLDEMBERG, J. (coord.) **Energia no Brasil** Academia de Ciências do Estado de S. Paulo, SP, 1976
- GOLDEMBERG, J. VILLANUEVA, L. D. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento** 2ª ed., São Paulo: EDUSP 2003
- HINRICH, R. A., KLEINBACH, M. **Energia e Meio Ambiente** São Paulo, Thomson, 2003
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, **World Energy Outlook 2000 Paris**: OECD/IEA, 2001

- JAMIESON, P. M., JAFFREY, A. Advanced Wind Turbine Design, Transactions of the ASME, Journal of Solar Energy Engineering, v.119, nov. 97, p. 315-320 **American Society of Mechanical Engineers**, 1997
- JHA, A.R. **Wind Turbine Technology** Boca Raton: CRC Press, 2011, 261 p.
- LA HOUILLE BLANCHE, Paris, L'Énergie Marémotrice, Revue Générale de l'Électricité, n. 3, 1997
- MANWELL, J.F., MCGOWAN, J.G., ROGERS, A.L. **Wind Energy Explained Theory, Design and Application** Chichester: Wiley, 2009
- MARTIN, J. M. **A Economia Mundial de Energia** São Paulo: UNESP, 1992
- MOURÃO, R. R. F. **Sol e Energia no terceiro Milênio** São Paulo: Scipione, 2000
- MÜLLER, A. C. **Hidrelétricas, Meio Ambiente e Desenvolvimento** São Paulo: Makron Books, 1995
- O'CALLAGHAN, P. **Energy Management** London: McGraw-Hill International, 1993
- OSSENBRUGEN, P. J., PREGENT, G. P., Meeker, L. D. Offshore Wind Power Potential, Journal of the Energy Division, v.105. n. EY1, jan. 79, p. 81-92 **American Society of Civil Engineers**, 1979
- SIEGEL, J., NELDER, C., HODGE, N. **Investing in Renewable Energy** Wiley, New York, 2008, 257 p.
- SCHREIBER, G. P. **Usinas Hidrelétricas** São Paulo: Edgar Blucher, 1978
- VOCADLO, J. J., RICHARDS, B., KING, M. Hydraulic Kinetic Energy Conversions (HKEC) Systems, Journal Energy Engineering, v.116. n. 1, apr. 90, p. 17-38 **American Society of Civil Engineers**, 1989
- WWI-WORLD WATCH INSTITUTE **Estado do Mundo 2003** Salvador: UMA, 2003
- [1] <http://fxtop.com/pt/calculadora-de-inflacao.php> Cálculo de inflação e de evolução dos preços entre 2 datas; acesso em 17.1.2019
- [2] <https://pt.wikipedia.org/wiki/G7> Grupo do Sete; acesso em 17.1.2019
- [3] <https://exame.abril.com.br/mundo/alemanha-fara-desligamento-de-usinas-nucleares-ate-2022/> ; acesso em 17.1.2019
- [4] <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>
- [5] [https://geopoliticadopetroleo.files.wordpress.com/2011/02/mapa\\_gasodutos\\_brasil.gif](https://geopoliticadopetroleo.files.wordpress.com/2011/02/mapa_gasodutos_brasil.gif) acesso em 17.1.19